

DRIVE SYSTEM CONTROL METHOD

Publication number: RU2183570

Publication date: 2002-06-20

Inventor: KLOZE KRISTIAN (DE); UNGER-VEBER FRANK (DE)

Applicant: DAJMLERKRAJSLER REHJL SJUSTEMS (DE)

Classification:

- **international:** *B60L9/24; B60L9/16; B60L15/00; H02M5/458; H02P27/06; B60L15/00; B60L9/00; H02M5/00; H02P27/04;* (IPC1-7): B60L15/00

- **European:** B60L9/16; H02M5/458B; H02P27/06

Application number: RU20010108530 20000704

Priority number(s): DE19991031199 19990707

Also published as:

WO0103965 (A1)

EP1112196 (A1)

US6538412 (B1)

EP1112196 (A0)

DE19931199 (A1)

[more >>](#)

[Report a data error](#) [help](#)

Abstract of RU2183570

railway transport. SUBSTANCE: invention contains description of method according to which, to reduce minimum amount of energy taken for operation of rail vehicle, in drive system provided with two-element ac converter and three- phase motor supplied by converter, voltage in intermediate dc link and/or magnetic flux in drive motor are optimized to meet actual operating requirements with due account of energy, when required, consumed by auxiliaries for cooling drive system components. EFFECT: improve energy balance in drive system of vehicle, reduced energy consumption. 10 cl, 6 dwg

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) RU (11) 2 183 570 (13) C1
(51) МПК⁷ B 60 L 15/00

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2001108530/28, 04.07.2000
(24) Дата начала действия патента: 04.07.2000
(30) Приоритет: 07.07.1999 DE 19931199.4
(46) Дата публикации: 20.06.2002
(56) Ссылки: SU 720653, 15.03.1980. EP 0521162 A, 20.01.1992. DE 3326948, 30.01.1995. DE 4316365, 01.12.1994. DE 4215917, 18.11.1993.
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 09.04.2001
(86) Заявка РСТ:
EP 00/06208 (04.07.2000)
(87) Публикация РСТ:
WO 01/03965 (18.01.2001)
(98) Адрес для переписки:
101000, Москва, пер. Малый Златоустинский 10, кв.15, бюро "ЕВРОМАРКПАТ", Веселицкой И.А.

(71) Заявитель:
ДАЙМЛЕРКРАЙСЛЕР РЭЙЛ СЮСТЕМС ГМБХ (DE)
(72) Изобретатель: КЛОЗЕ Кристиан (DE), УНГЕР-ВЕБЕР Франк (DE)
(73) Патентообладатель:
ДАЙМЛЕРКРАЙСЛЕР РЭЙЛ СЮСТЕМС ГМБХ (DE)
(74) Патентный поверенный:
Веселицкая Ирина Александровна

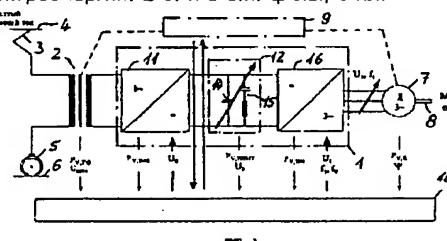
RU 2 183 570 C1

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДНОЙ СИСТЕМОЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

(57) Реферат:

Описан способ, согласно которому для минимизации количества энергии, расходуемой на работу рельсового транспортного средства, в приводной системе, имеющей двухзвеный преобразователь переменного тока и запитываемый от него трехфазный двигатель, напряжение в промежуточном звене постоянного тока и/или магнитный поток в приводном двигателе оптимизируют в соответствии с фактическими рабочими требованиями, при необходимости с учетом затрачиваемой вспомогательным оборудованием на охлаждение компонентов

приводной системы. Технический результат изобретения заключается в улучшении энергетического баланса в приводной системе транспортного средства и экономии электроэнергии. 2 с. и 8 з.п. ф-лы, 6 ил.



RU
2 1 8 3 5 7 0
C1



(19) **RU** (11) **2 183 570** (13) **C1**
(51) Int. Cl.⁷ **B 60 L 15/00**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2001108530/28, 04.07.2000

(24) Effective date for property rights: 04.07.2000

(30) Priority: 07.07.1999 DE 19931199.4

(46) Date of publication: 20.06.2002

(85) Commencement of national phase: 09.04.2001

(86) PCT application:
EP 00/06208 (04.07.2000)

(87) PCT publication:
WO 01/03965 (18.01.2001)

(98) Mail address:
101000, Moskva, per. Malyj Zlatoustinskij
10, kv.15, bjurо "EVROMARKPAT", Veselitskogo

(71) Applicant: DAJMLERKRAJSLER REhJL SJUSTEMS GMBKh (DE)

(72) Inventor: KLOZE Kristian (DE), UNGER-VEBER Frank (DE)

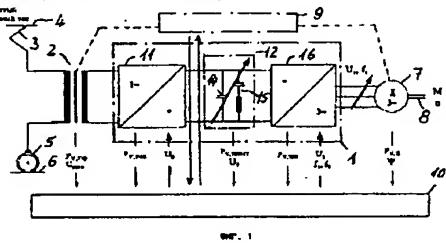
(73) Proprietor: DAJMLERKRAJSLER REhJL SJUSTEMS GMBKh (DE)

(74) Representative: Veselitskaja Irina Aleksandrovna

(54) DRIVE SYSTEM CONTROL METHOD

(57) Abstract:
FIELD: railway transport. SUBSTANCE: invention contains description of method according to which, to reduce to minimum amount of energy taken for operation of rail vehicle, in drive system provided with two-element ac converter and three-phase motor supplied by converter, voltage in intermediate dc link and/or magnetic flux in drive motor are optimized to meet actual operating requirements with due account of energy, when required, consumed by auxiliaries for cooling drive system

components. EFFECT: improved energy balance in drive system of vehicle, reduced energy consumption. 10 cl, 6 dwg



R U ? 1 8 3 5 7 0 C 1

R U 2 1 8 3 5 7 0 C 1

Изобретение относится к способу в соответствии с ограничительной частью первого пункта формулы изобретения.

Согласно известному способу управления приводной системой большой мощности с регулируемой частотой вращения (ДЕ 4422275 A1) питание на каждый из двух трехфазных электродвигателей подается через предусмотренные для каждого из них импульсные инверторы от промежуточного звена постоянного тока, которое в свою очередь запитывается от сети электроснабжения через выпрямитель сетевого напряжения. Приводные двигатели имеют определенный критический (опрокидывающий) крутящий момент, который всегда должен быть больше отдаваемого двигателем крутящего момента. Кроме того, эти двигатели рассчитаны на постоянное потребление мощности в диапазоне частот вращения выше некоторой заданной частоты вращения, определяемой так называемой характерной (типовую) точкой. С целью сократить при этом влияние таких возмущающих воздействий, как пульсирующие моменты или потери от высших гармоник, прежде всего при работе в импульсном режиме, и снизить за счет этого электрическую и механическую нагрузку на приводные двигатели, а также нагрузку по напряжению на двухзвеный преобразователь переменного тока, постоянное напряжение промежуточного звена постоянного тока в диапазоне частот вращения ниже характерной точки снижают по сравнению с максимально возможным напряжением этого промежуточного звена, а в диапазоне частот вращения выше этой характерной точки исходя из сниженного напряжения промежуточного звена постоянного тока повышают с зависящим от частоты вращения переходом на максимальное напряжение промежуточного звена постоянного тока при максимальной частоте вращения вала приводных двигателей. Выпрямители сетевого напряжения, которые могут быть выполнены в виде преобразователей-регуляторов постоянного напряжения, соответственно регуляторов электропривода с механической характеристикой в четырех квадрантах, в том случае, когда приводные двигатели и при работе в генераторном режиме создают тормозящий крутящий момент для обычно приводимого ими в движение транспортного средства, выполняют в виде регуляторов электропривода с механической характеристикой в четырех квадрантах. При работе двигателей в тяговом режиме подведенное к ним напряжение при относительно постоянном магнитном потоке от нулевой частоты вращения до характерной точки линейно возрастает с увеличением частоты вращения. При этом междуфазное напряжение в характерной точке достигает максимальной величины. Затем в диапазоне частот вращения выше этой характерной точки подведенное к двигателям напряжение остается постоянным при уменьшении магнитного потока.

В основу настоящего изобретения была положена задача разработать способ управления приводной системой в соответствии с ограничительной частью первого пункта формулы изобретения,

который обеспечивал бы дальнейшее улучшение энергетического баланса в этой приводной системе.

Указанная задача решается согласно изобретению в соответствии с отличительными признаками первого пункта формулы изобретения. Предпочтительные варианты осуществления изобретения представлены в остальных пунктах формулы.

В предлагаемом согласно изобретению способе учитывается тот факт, что в диапазоне частот вращения выше характерной точки, т.е. в диапазоне полного открытия инвертора, при частотах вращения, соответствующих нижнему диапазону развивающегося приводным двигателем тягового крутящего момента или отдаваемого им тормозящего крутящего момента, еще отсутствует необходимость увеличивать соответствующее напряжение промежуточного звена постоянного тока до более высокого уровня, задаваемого в соответствии с известными из уровня техники решениями. Согласно изобретению напряжение промежуточного звена постоянного тока можно представить более эффективной многопараметровой характеристикой вида $U_d=f(M, \dot{\varphi})$. В соответствии с этим при низком требуемом крутящем моменте напряжение промежуточного звена постоянного тока можно поддерживать практически на постоянном уровне или повышать лишь на несколько процентов по сравнению с тем напряжением, которое поддерживается в диапазоне ниже характерной точки, т.е. при работе инвертора в импульсном режиме. Лишь при необходимости увеличения крутящего момента до величины, которая лежит в диапазоне выше характерной точки, напряжение промежуточного звена постоянного тока требуется повышать с целью выполнения требований, предъявляемых к приводной системе касательно крутящего момента и частоты вращения, до задаваемой согласно уровню техники величины в зависимости от увеличившегося задаваемого крутящего момента. Мощность потерь в приводной системе в этом случае постоянно поддерживается на минимальном уровне. Благодаря этому удается существенно расширить за пределы характерной точки тот рабочий диапазон изменения частоты вращения, в котором на схемные элементы двухзвенного преобразователя переменного тока можно подавать пониженное напряжение и тем самым увеличить срок их службы при сокращении общей мощности потерь.

Дополнительно к этому или вне зависимости от этого аналогичным образом можно также регулировать магнитный поток в каждом из приводных двигателей. В соответствии с этим магнитный поток в приводном двигателе при изменении частоты вращения в сторону увеличения от значения, лежащего выше характерной точки, непрерывно снижает, при этом исходное значение соответствует тому практически постоянному значению, которое на параметрической поверхности, описываемой многопараметровой характеристикой, лежит ниже характерной точки. При этом магнитный поток, соотносимый в каждом случае с задаваемой частотой вращения, в нижнем

диапазоне развиваемого приводным двигателем тягового или тормозящего крутящего момента поддерживают практически на постоянном уровне и повышают лишь при необходимости увеличения крутящего момента. В результате аналогично многопараметровой характеристике, описывающей напряжение промежуточного звена постоянного тока, многопараметровая характеристика для магнитного потока выше характерной точки приобретает желобообразный вид с наклоном в сторону более низких значений. При этом в целом непрерывное уменьшение магнитного потока происходит с увеличением частоты вращения. В результате выше характерной точки приводной двигатель работает исходя из низких в нижнем диапазоне значений задаваемого крутящего момента с оптимально низкими значениями силы тока, которую увеличивают лишь в том случае, когда величина задаваемого крутящего момента увеличивается с выходом из этого диапазона в сторону соответствующего максимального значения. При этом магнитный поток достигает заданной согласно уровню техники величины лишь при более высоких значениях задаваемого крутящего момента. С уменьшением магнитного потока электрические потери и потери от вихревых токов также сокращаются до их минимальной величины, при этом снижать магнитный поток при низком значении задаваемого крутящего момента можно лишь настолько, чтобы не выходить за нижнюю границу опрокидывающего крутящего момента приводного двигателя.

Если в приводной системе предусмотрено также вспомогательное оборудование в виде вентиляторов, насосов и т.п., предназначенное для охлаждения отдельных компонентов этой системы, таких как трансформаторы, преобразователи электроэнергии и приводные двигатели, то потребляемую им энергию также целесообразно учитывать в расчетах энергетического баланса и минимизировать ее в зависимости от режима работы. С этой целью в приводной системе мощность, затрачиваемую на охлаждение по меньшей мере одного ее имеющего высокую тепловую постоянную времени компонента, соответственно его части, а тем самым и потребляемую им электрическую мощность поддерживают до достижения этим компонентом некоторой заданной максимально допустимой температуры на произвольно заданном уровне ниже максимальной величины. В отличие от этого при превышении этой заданной температуры затрачиваемую на охлаждение мощность устанавливают на максимальное значение. Регулирование мощности вспомогательного оборудования, а тем самым и интенсивности охлаждения отдельных компонентов приводной системы зависит от их конкретной температуры и количества независимо регулируемых охлаждающих устройств. Если возможность независимого регулирования этих охлаждающих устройств отсутствует, то затрачиваемую на охлаждение мощность устанавливают на максимальное значение.

Дополнительно или альтернативно может также оказаться целесообразным регулировать затрачиваемую на охлаждение

мощность пропорционально фактической мощности потерь, возникающих в приводной системе у компонентов с низкой тепловой постоянной времени. Благодаря этому удается предотвратить частичный перегрев компонентов приводной системы или их частей на участках, не охватываемых или труднодоступных для охвата их температурными датчиками. Таким образом, вентиляция интенсифицируется при появлении в приводной системе толчков нагрузки.

Дополнительно оптимизировать энергетический баланс удается также благодаря тому, что при температуре и мощности потерь ниже их заданных максимальных значений в приводной системе затрачиваемую на охлаждение мощность повышают только в том случае, когда общее количество дополнительно расходуемой на охлаждение энергии меньше суммарной энергии электрических потерь, дополнительно возникающих в приводной системе при отсутствии охлаждения. С этой целью на основании фактических рабочих параметров определяют текущую мощность потерь отдельных компонентов системы и путем сравнения, например, с эмпирически полученными значениями устанавливают, является ли с точки зрения общего энергетического баланса целесообразным включение вспомогательного оборудования в данный или в какой-либо более поздний момент времени при повышении температуры или нагрузки компонентов приводной системы и обусловленном этим нагреве по сравнению с затратами мощности, необходимой в настоящий момент для охлаждения.

Помимо этого, для улучшения энергетического баланса предлагается также развозбуждать приводной двигатель при отсутствии необходимости в изменении крутящего момента, т. е. при движении рельсового транспортного средства по инерции или при его стоянке. В результате исключается также необходимость в подаче электроэнергии на приводной двигатель для его работы в режиме холостого хода. Помимо этого, благодаря согласованию интенсивности охлаждения с конкретными условиями дополнительно сокращается потребляемая вспомогательным оборудованием электроэнергия за счет снижения требуемой нагрузки. При этом отдельные устройства охлаждения, входящие в состав вспомогательного оборудования, могут быть даже полностью отключены.

Рельсовое транспортное средство, управление работой которого осуществляется в соответствии с указанными в изобретении мерами и которое оснащено необходимыми для этого устройствами, имеет характеризующуюся минимальными потерями приводную систему, в которую может быть также включено и вспомогательное оборудование.

Ниже изобретение более подробно рассмотрено на примерах его осуществления со ссылкой на прилагаемые схематичные чертежи, на которых показано:

на фиг.1 - принципиальная схема приводной системы с оптимизирующей системой управления,

на фиг.2 - блок-схема, на которой показаны операции по оптимизации

потребления энергии приводной системой, на фиг.3 - трехмерная характеристика изменения напряжения промежуточного звена постоянного тока в двухзвенном преобразователе переменного тока приводной системы,

на фиг.3а - аналогичная фиг.3 трехмерная характеристика согласно уровню техники,

на фиг.4 - трехмерная характеристика изменения магнитного потока в зависимости от крутящего момента и частоты вращения вала приводного двигателя в приводной системе и

на фиг.4а - аналогичная фиг.4 трехмерная характеристика согласно уровню техники.

Согласно фиг. 1 система управления работой приводной системы большой мощности с регулируемой частотой вращения имеет двухзвенный преобразователь 1 переменного тока, запитываемый в данном случае через трансформатор 2 и через токоприемник 3 от контактной сети 4 однофазного переменного тока. При этом первичная обмотка трансформатора по меньшей мере через одно колесо 5 рельсового транспортного средства и по меньшей мере через один рельс 6 соединена с заземленным полюсом сети 4. От вторичной обмотки трансформатора 2 ток поступает в промежуточное звено постоянного тока двухзвенного преобразователя 1 переменного тока, от трехфазного выхода которого запитывается по меньшей мере один трехфазный электродвигатель 7, служащий приводным двигателем рельсового транспортного средства. Крутящий момент приводного двигателя 7 передается либо непосредственно, либо через редуктор на колесо 5 или на несколько других колес 5 рельсового транспортного средства. Двухзвенный преобразователь 1 переменного тока, трансформатор 2 и приводной двигатель 7 имеют соответствующее вспомогательное оборудование 9, в состав которого входят (при необходимости) оснащенные соответствующими устройствами управления вентиляторы для воздушного и/или насосные устройства для жидкостного охлаждения по мере необходимости компонентов приводной системы, к которым относятся приводной двигатель 7, двухзвенный преобразователь 1 переменного тока и трансформатор 2. Кроме того, для всей приводной системы в целом предусмотрена оптимизирующая система 10 управления, регистрирующая рабочие параметры компонентов приводной системы, включая вспомогательное оборудование, и выдающая на эти компоненты после оптимизации, т.е. после определения оптимальных значений, оптимизированные управляющие данные таким образом, чтобы оптимизировать потребление всей энергии в зависимости от конкретной рабочей точки приводной системы, в данном случае прежде всего с учетом отдаваемого приводным двигателем 7 крутящего момента и связанной с ним частоты вращения, а также с учетом напряжения в сети электроснабжения.

Оборудованное подобным образом рельсовое транспортное средство потребляет в этом случае минимальное количество энергии.

Двухзвенный преобразователь 1 переменного тока может также запитываться от дизельного электроагрегата (генератора с

дизель-электрическим приводом) или от сети постоянного тока.

В состав двухзвенного преобразователя 1 переменного тока в рассматриваемом варианте входит выпрямитель 11 сетевого напряжения, выполненный в виде преобразователя-регулятора постоянного напряжения при питании от сети постоянного тока и в виде регулятора электропривода с механической характеристикой в четырех квадрантах при работе главным образом на переменном токе, что позволяет подавать обратно в сеть 4 рекуперируемую электроэнергию, вырабатываемую приводным двигателем 7 при его переключении на работу в тормозном режиме. Запитываемый от вторичной обмотки трансформатора 2 выпрямитель 11 сетевого напряжения в свою очередь запитывает со стороны вторичного напряжения промежуточное звено 12 постоянного тока, которое имеет электрический конденсатор 14 звена постоянного тока и включенную параллельно ему цепь 15 отсасывающего контура. К промежуточному звену 12 постоянного тока, на которое подается постоянное напряжение, подключен импульсный инвертор 16, который генерирует напряжение трехфазного тока с изменяемой частотой для подачи на приводной двигатель 7 с изменяющейся частотой вращения необходимой для его работы энергии и открытие которого при пропорциональном управлении его выходным сигналом в функции сигнала на входе изменяется от нуля до полного открытия. Выходное напряжение инвертора при пропорциональном управлении его выходным сигналом в функции сигнала на входе характеризуется отношением максимально возможного выходного напряжения инвертора к его фактическому выходному напряжению, при этом максимально возможное выходное напряжение достигается при полном открытии этого вентильного преобразователя. При полном открытии инвертор работает в режиме блокировки, а в остальном диапазоне изменения выходного сигнала инвертор работает в импульсном режиме.

Оптимизирующая система 10 управления управляет выпрямителем 11 сетевого напряжения таким образом, чтобы в промежуточном звене 12 постоянного тока устанавливалось соответствующее режиму работы приводного двигателя 7 оптимальное напряжение (фиг. 3). При этом направленная вверх наклонная стрелка (фиг.1) указывает на возможность варьировать напряжение в промежуточном звене 12 постоянного тока. В свою очередь управление импульсным инвертором 16 также осуществляется оптимизирующей системой 10 управления в зависимости от требуемого режима работы приводного двигателя 7 и величины напряжения в промежуточном звене постоянного тока, при этом путем изменения напряжения трехфазного тока магнитный поток в приводном двигателе 7 устанавливается на оптимально согласованный с его текущим режимом работы, определяемым необходимыми крутящим моментом и частотой вращения (фиг.4). Таким образом, напряжение питания приводного двигателя 7 также можно варьировать (регулировать), на что указывает направленная вверх наклонная стрелка (фиг.

1).

С целью свести к минимуму общее потребление энергии приводной системой, включая вспомогательное оборудование, управление осуществляют согласно фиг.2 таким образом, чтобы исходя из входных величин необходимого крутящего момента M и необходимой частоты вращения ω определять на основании фактического напряжения в сети устанавливаемое для соответствующей рабочей точки минимальное напряжение $U_{\text{пзт},\text{min}}$ промежуточного звена постоянного тока с одновременным заданием для этой рабочей точки максимально допустимого напряжения $U_{\text{пзт},\text{max}}$ промежуточного звена постоянного тока. При этом минимальное напряжение промежуточного звена постоянного тока должно быть меньше или равно заданному максимальному напряжению этого промежуточного звена. На основании указанного заданного минимального напряжения, обеспечиваемого в промежуточном звене 12 постоянного тока выпрямителем 11 сетевого напряжения, оптимизирующая система 10 управления вычисляет потери, учитывающие ожидаемые в данной рабочей точке электрические потери всех компонентов приводной системы, при этом при работе инвертора 16 в импульсном режиме напряжение промежуточного звена поддерживается на минимальном уровне. Полученные на основании этого вычисления управляющие данные сохраняются в матрице результатов, после чего напряжение промежуточного звена 12 постоянного тока устанавливается на величину, при которой общие потери в приводной системе минимальны. Затем полученные на отдельных стадиях результаты снова сохраняются в матрице результатов с привязкой к конкретной стадии. Если напряжение промежуточного звена 12 постоянного тока снизится до минимального значения, то в результате сравнения сохраненных по отдельным стадиям управляющих данных из матрицы результатов выбирается значение, для которого обеспечивается оптимально низкий энергетический баланс. При этом операции по вычислению энергетического баланса выполняются для любой возможной рабочей точки приводного двигателя 7. Напряжение промежуточного звена постоянного тока поддерживается на уровне минимального значения до тех пор, пока подведенное к приводному двигателю 7 напряжение, необходимое для получения на его выходе требуемого крутящего момента, не потребует увеличить напряжение указанного промежуточного звена. На фиг. 3 соответствующий участок многопараметровой характеристики представлен приблизительно в виде плоскости. Результат вычисления оптимального напряжения промежуточного звена постоянного тока показан на фиг.3, где заданная характерной точкой T_p частота вращения имеет величину, при которой в многопараметровой характеристике появляется важное изменение. В показанной на чертеже трехмерной системе координат по оси x отложен крутящий момент приводного двигателя при его работе в тяговом и тормозном режимах и поэтому нулевая точка расположена на оси x в середине ее

представляющего интерес участка. По вертикальной оси у отложено напряжение промежуточного звена постоянного тока, а по оси z отложена частота вращения. В соответствии с этой многопараметровой характеристикой напряжение промежуточного звена 12 постоянного тока при частотах вращения в интервале от заданного характерной точкой значения до максимального значения и при этом в нижнем диапазоне изменения развиваемого приводным двигателем 7 тягового или тормозящего крутящего момента можно по меньшей мере в значительной степени поддерживать на уровне, который ниже теоретически необходимого для заданной частоты вращения, т. е. ниже характерной точки. При этом с увеличением частоты вращения величина крутящего момента уменьшается до определенного значения, до достижения которого напряжение промежуточного звена постоянного тока может по меньшей мере в значительной степени оставаться на том уровне, который преобладает при работе инвертора в импульсном режиме. Лишь при необходимости сопровождающегося с выходом за эти пределы изменения крутящего момента, связанного с изменением частоты вращения, напряжение промежуточного звена постоянного тока незначительно увеличивается в зависимости от величины крутящего момента. В результате многопараметровая характеристика, описывающая работу двигателя в тяговом и тормозном режимах, приобретает желобообразный вид. Для сравнения с фиг.3 на фиг.3 показана многопараметровая характеристика, описывающая изменение напряжения промежуточного звена постоянного тока в соответствии с уровнем техники. При этом очевидно, что напряжение промежуточного звена постоянного тока возрастает, начиная от соответствующей характерной точки частоты вращения до максимального значения независимо от конкретно развиваемого приводным двигателем 7 крутящего момента. В отличие от этого напряжение промежуточного звена постоянного тока несколько повышается согласно изобретению лишь в верхнем диапазоне изменения задаваемой частоты вращения и, таким образом, указанное напряжение зависит также от крутящего момента. После оптимизации напряжения промежуточного звена постоянного тока, как это показано на фиг.2, также в соответствии с блок-схемой по фиг.2 определяется оптимальный для требуемой мощности приводного двигателя 7 магнитный поток при его работе в режиме, который соответствует необходимым значениям крутящего момента и частоты вращения. При этом исходят из того, что мгновенное значение напряжения промежуточного звена постоянного тока может не равняться оптимальному значению этого напряжения, а относительный магнитный поток может быть меньше 1, т.е. быть меньше максимального магнитного потока, его постепенно уменьшают в числовой модели до заданного значения. При этом определяют потери в инверторе и приводном

двигателе и сохраняют их в виде характеристики, являющейся функцией магнитного потока. По этой характеристике в качестве оптимальной величины магнитного потока выбирается соответствующая минимальным потерям величина, которая передается в приводную систему в качестве заданного значения. Указанная операция выполняется для каждой рабочей точки приводной системы. При этом при оптимизации напряжения промежуточного звена постоянного тока, а также магнитного потока оптимизирующая система 10 управления каждый раз анализирует в процессе оптимизации показатели мощности потерь и соответствующие параметры подлежащих учету компонентов. При этом для сокращения потерь в приводной системе можно оптимизировать только напряжение промежуточного звена постоянного тока или только магнитный поток для приводного двигателя, если только одна из указанных мер является технически целесообразной или должна быть реализована с целью экономии затрат.

На фиг. 4 показана многопараметровая характеристика для оптимального регулирования магнитного потока в приводном двигателе 7, при этом такая многопараметровая характеристика также представлена в трехмерной системе координат, в которой по оси x отложена частота вращения, по оси y отложен нормированный магнитный поток, а по оси z отложен крутящий момент на выходе приводного двигателя 7, работающего в тяговом или тормозном режиме. Нулевая точка крутящего момента нанесена на оси z также в середине ее представляющего интерес участка, при этом положительные значения крутящего момента соответствуют работе приводного двигателя в тяговом режиме, а отрицательные значения - в тормозном режиме. Согласно этой характеристике оптимальный по потреблению энергии режим работы устанавливается при полном открытии инвертора, когда при изменении частоты вращения в сторону максимального значения в нижнем диапазоне значений задаваемого крутящего момента магнитный поток уменьшается более интенсивно, чем в верхнем диапазоне значений задаваемого крутящего момента. В соответствии с этим при работе инвертора в импульсном режиме при низких значениях задаваемого крутящего момента за счет уменьшения магнитного потока мощность потерь, величина которой зависит от конкретной рабочей точки, минимальна. При полном открытии, т.е. в режиме блокировки, инвертор не может более влиять на магнитный поток. В этом случае магнитный поток определяется на основании уже оптимизированного в зависимости от конкретной рабочей точки напряжения промежуточного звена постоянного тока. Оптимизация магнитного потока позволяет также снизить потери в приводном двигателе 7, возникающие в обмотке статора, а также в пакете сердечника.

На фиг.4а изображена многопараметровая характеристика магнитного потока, которую получают при управлении с помощью известных устройств согласно уровню техники. Согласно этой характеристике

магнитный поток регулируется только в зависимости от частоты вращения вала приводного двигателя и не зависит от требуемого крутящего момента. В отличие от этого при применении оптимизирующего подхода согласно фиг.4 благодаря снижению магнитного потока в нижнем диапазоне нагрузок приводного двигателя достигается снижение магнитного потока на большом участке многопараметровой характеристики в нижнем диапазоне изменения крутящего момента, а тем самым и сокращение мощности потерь.

Управление вспомогательным оборудованием, предусмотренным в приводной системе и предназначенным для отвода потерь тепла, выделяемого ее компонентами, осуществляется таким образом, чтобы до достижения по меньшей мере одним обладающим высокой тепловой постоянной времени компонентом или его частью заданной температуры поддерживать затрачиваемую на охлаждение мощность на исключительно низком уровне, который значительно ниже теоретически необходимой максимальной мощности. Компонентом с высокой тепловой постоянной времени является при этом, например, масляный трансформатор или имеющий массивные железные, соответственно стальные части приводного двигателя и иные отдельные детали, обладающие большой массой. Лишь при превышении заданной температуры затрачиваемую на охлаждение мощность повышают вплоть до максимальной в зависимости от фактической температуры по меньшей мере одного из указанных компонентов или его части. В дополнение или помимо этого затрачиваемую на охлаждение мощность можно также регулировать пропорционально мощности потерь, фактически возникающих в приводной системе у компонентов с низкой тепловой постоянной времени. Такими компонентами с низкой тепловой постоянной времени являются при этом, например, обмотки приводного двигателя, детали выпрямителя тока, тормозные реостаты и т.п. В этом случае для снижения общей потребляемой энергии целесообразно, чтобы ниже заданных максимальных значений температуры и мощности потерь в приводной системе затрачиваемая на охлаждение мощность повышалась только тогда, когда дополнительно расходуемая на охлаждение энергия меньше суммарной энергии потерь, дополнительно возникающих в приводной системе при отсутствии охлаждения.

Если для отдельных компонентов приводной системы предусмотрены отдельные устройства охлаждения в качестве вспомогательного оборудования, например система жидкостного охлаждения для масляного трансформатора, системы воздушного охлаждения отдельно для приводного двигателя и при необходимости отдельно для каждого из других компонентов, то регулирование мощности, затрачиваемой на охлаждение этими отдельными устройствами охлаждения, относящимися к вспомогательному оборудованию, целесообразно осуществлять избирательно в зависимости от температуры и/или нагрузки соответствующих основных компонентов, выполняя при этом по отдельности

вычисления по оптимизации и осуществляя основное на их результатах управление.

Для обеспечения энергетического баланса приводной двигатель 7 при отсутствии необходимости в изменении крутящего момента предпочтительно также развозбуждать, т.е. понижать магнитный поток, соответственно напряжение питания приводного двигателя 7 в сторону нуля. В этом случае у движущегося по инерции или неподвижного рельсового транспортного средства не затрачивается энергия на работу приводного двигателя в режиме холостого хода. Дополнительно охлаждение, а тем самым и мощность вспомогательного оборудования согласуются с пониженной требуемой нагрузкой вплоть до полного отключения отдельных агрегатов системы охлаждения и полупроводниковых преобразователей электроэнергии, предназначенных для подвода к ним напряжения.

Формула изобретения:

1. Способ управления приводной системой большой мощности с регулируемой частотой вращения, имеющей по меньшей мере один трехфазный электродвигатель, рассчитанный на постоянное потребление мощности выше некоторой заданной частоты вращения и запитываемый от двухзвенного преобразователя переменного тока с изменяющимся напряжением промежуточного звена постоянного тока, при этом питание на двухзвенный преобразователь переменного тока подают от сети электроснабжения и напряжение промежуточного звена постоянного тока в диапазоне частот вращения ниже заданной частоты вращения снижают по сравнению с его максимальным значением таким образом, чтобы это напряжение промежуточного звена постоянного тока не снижалось ниже некоторого минимального значения, определяемого напряжением сети в процессе работы, а в диапазоне частот вращения выше заданной частоты вращения, исходя из указанного снижения напряжения промежуточного звена постоянного тока происходит зависящий от частоты вращения переход к максимальному напряжению этого промежуточного звена при максимальной частоте вращения, причем такая система предназначена прежде всего для рельсовых транспортных средств, получающих электроэнергию от контактной сети или от установленного на самом транспортном средстве дизельного электроагрегата, отличающейся тем, что в указанной приводной системе напряжение промежуточного звена постоянного тока при частоте вращения в диапазоне от превышающих заданную частоту вращения до максимальной частоты вращения и при этом в нижнем диапазоне развиваемого приводным двигателем тягового или тормозящего крутящего момента поддерживают, по меньшей мере в значительной степени, на том его низком значении, которое оно имеет при частоте вращения ниже заданной.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что напряжение промежуточного звена постоянного тока в каждой рабочей точке устанавливают на такое значение, при котором общая мощность потерь у транспортного средства минимальна.

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что магнитный поток в приводном двигателе при ослаблении поля возбуждения с повышением частоты вращения постоянно уменьшают, и этот магнитный поток определяется напряжением $U_{\text{плт}}$, при этом магнитный поток при работе инвертора в импульсном режиме значительно уменьшают в зависимости от развиваемого приводным двигателем тягового или тормозящего крутящего момента, в результате чего суммарная мощность потерь в инверторе и приводном двигателе снижается до минимума.

4. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что приводную систему охлаждают с помощью вспомогательного оборудования, такого как насосы и вентиляторы, при этом до достижения некоторой заданной температуры по меньшей мере одним имеющим высокую тепловую постоянную времени компонентом приводной системы или его частью, затрачиваемую на охлаждение, мощность поддерживают на исключительно низком уровне, который значительно ниже максимальной величины, а при превышении этой заданной температуры повышают в зависимости от фактической температуры по меньшей мере одного компонента приводной системы или его части до максимальной величины.

5. Способ по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что затрачиваемую на охлаждение мощность регулируют пропорционально фактической мощности потерь, возникающих в приводной системе у компонентов с низкой тепловой постоянной времени.

6. Способ по п. 4 или 5, отличающийся тем, что при температуре и мощности потерь ниже их заданных максимальных значений в приводной системе затрачиваемую на охлаждение мощность повышают только в том случае, когда общее количество дополнительно расходуемой на охлаждение энергии меньше суммарной энергии электрических потерь, дополнительно возникающих в приводной системе при отсутствии охлаждения.

7. Способ по любому из пп. 4-6, отличающийся тем, что отдельные компоненты приводной системы имеют в качестве вспомогательного оборудования собственные устройства охлаждения, при этом мощность, затрачиваемую на охлаждение этими устройствами охлаждения, избирательно регулируют в зависимости от температуры и/или нагрузки соответствующих компонентов приводной системы.

8. Способ по любому из пп. 1-6, отличающийся тем, что при отсутствии необходимости в изменении крутящего момента приводной двигатель развозбуждают, а также отключают выпрямители сетевого напряжения и инверторы.

9. Способ по п. 8, отличающийся тем, что управление устройствами охлаждения вспомогательного оборудования осуществляют вплоть до их полного отключения в соответствии с изменением требуемой нагрузки.

10. Устройство управления приводной системой большой мощности с регулируемой частотой вращения, имеющей по меньшей

мере один трехфазный электродвигатель, рассчитанный на постоянное потребление мощности выше некоторой заданной частоты вращения и запитываемый от двухзвенного преобразователя переменного тока с изменяемым напряжением промежуточного звена постоянного тока, при этом напряжение промежуточного звена постоянного тока в диапазоне частот вращения ниже заданной частоты вращения снижается по сравнению с его максимальным значением таким образом, чтобы это напряжение промежуточного звена постоянного тока не снижалось ниже некоторого минимального значения, определяемого напряжением сети электроснабжения (напряжением контактной сети) в процессе работы, а в диапазоне частот вращения выше заданной частоты вращения, исходя из указанного сниженного напряжения промежуточного звена постоянного тока происходит зависящий от частоты вращения переход к максимальному

напряжению этого промежуточного звена при максимальной частоте вращения, причем такое устройство управления предназначено прежде всего для рельсовых транспортных средств, отличающееся тем, что в указанной приводной системе (1, 2, 7) напряжение промежуточного звена постоянного тока при частотах вращения приводного двигателя (7), соответствующих режиму блокировки инвертора, и при этом в нижнем диапазоне развиваемого приводным двигателем (7) тягового или тормозящего крутящего момента поддерживается, по меньшей мере в значительной степени, на значении, которое соответствует напряжению в промежуточном звене (12) постоянного тока ниже заданной частоты вращения приводного двигателя (7), и регулируется таким образом, чтобы общая мощность потерь для всей приводной системы была в любой рабочей точке минимальна.

20

25

30

35

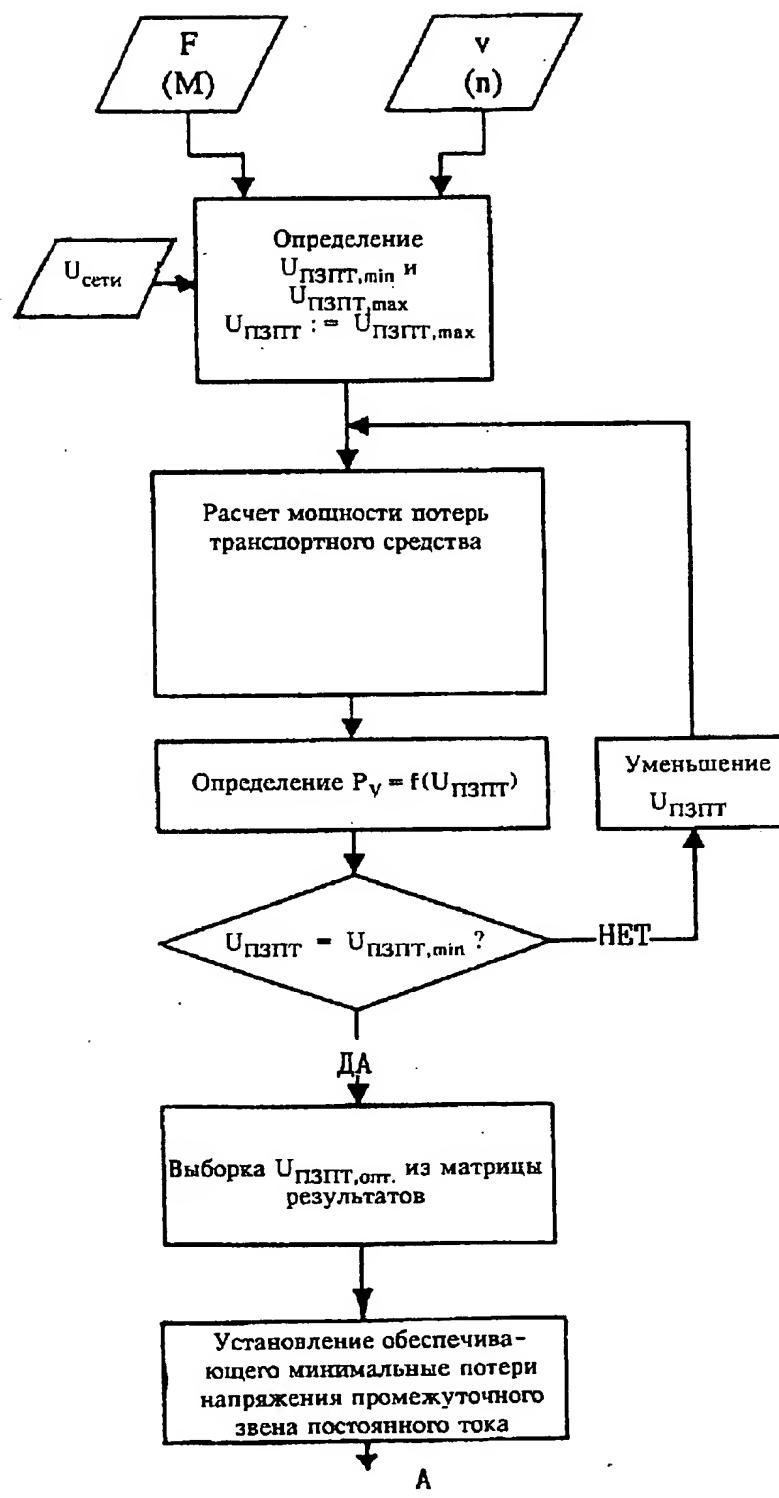
40

45

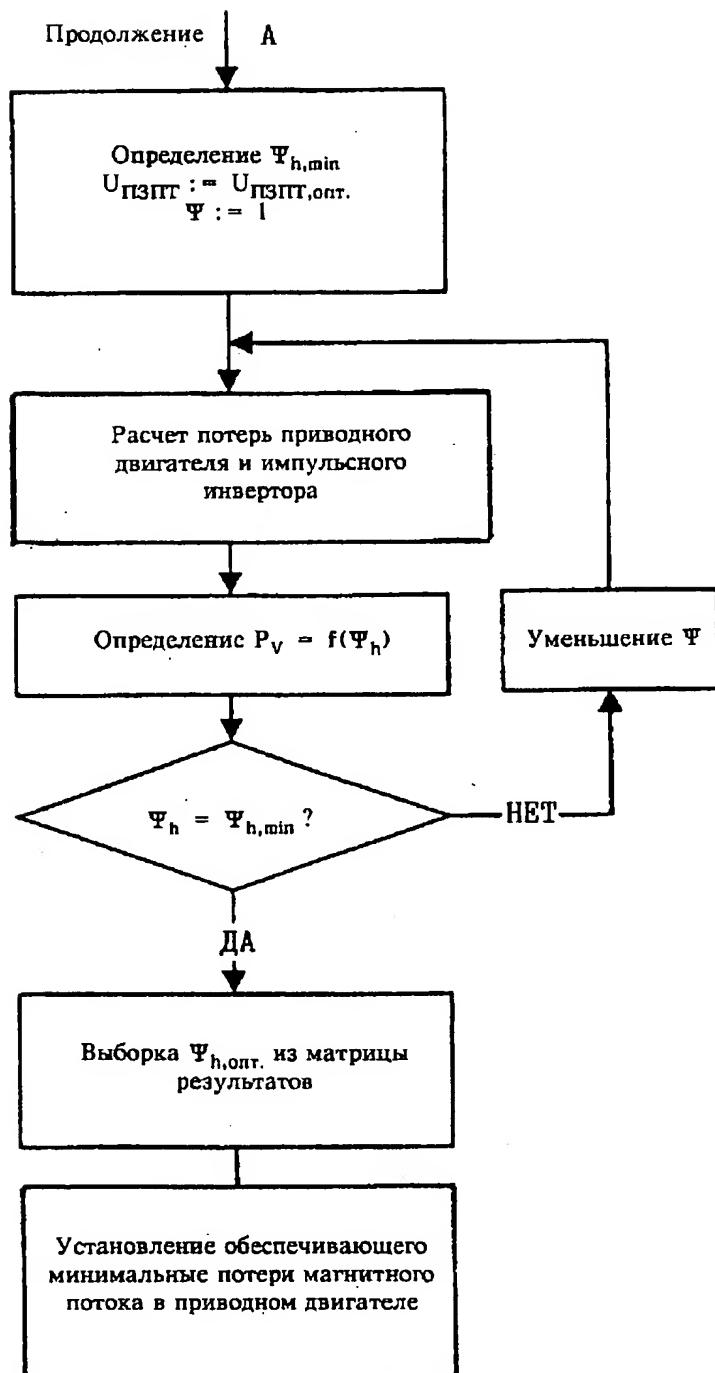
50

55

60

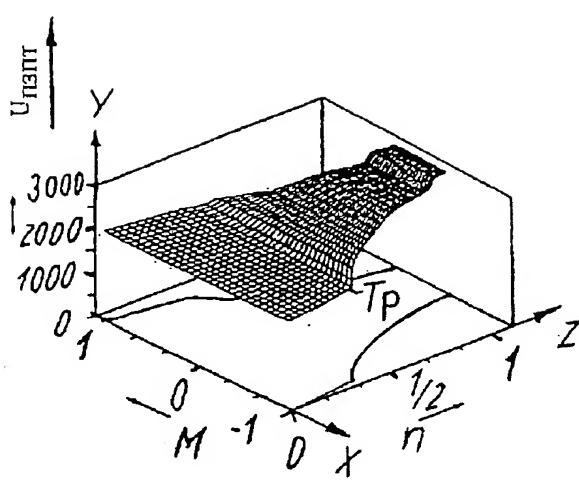


ФИГ. 2

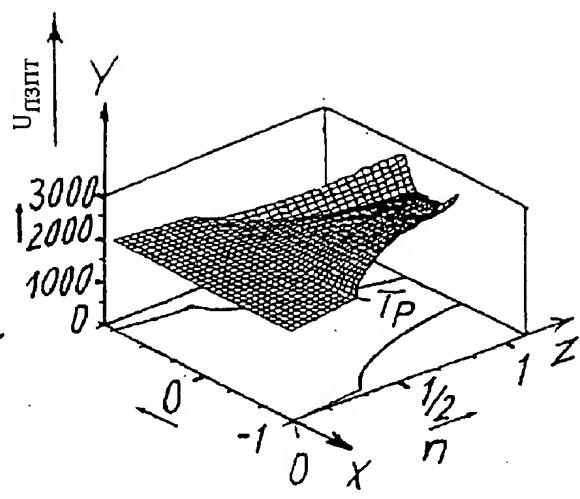


ФИГ. 2 (продолжение)

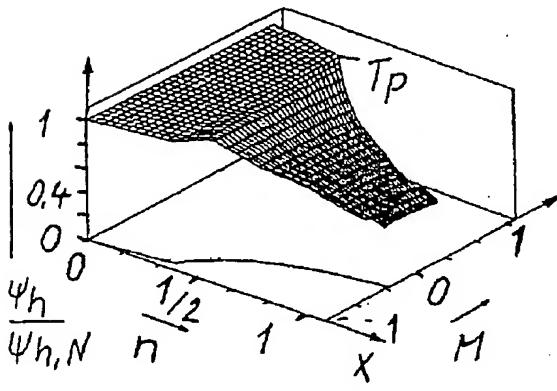
RU 2183570 C1



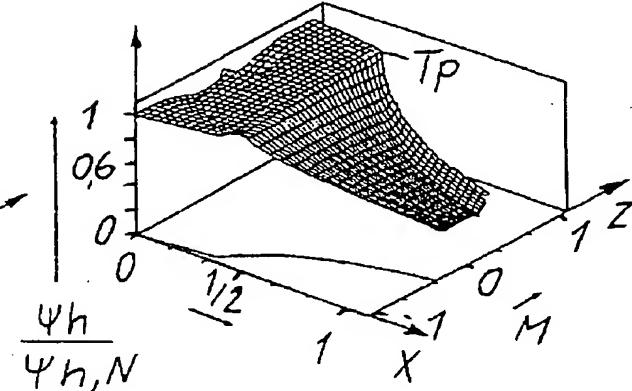
ФИГ. 3а



ФИГ. 3



ФИГ. 4а



ФИГ. 4

RU 2183570 C1